Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 541-559

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۵۵۹-۵۴۱

مقاله علمی - پژوهشی

پهنه بندی و ارزیابی پتانسیل ترسیب کربن، تولید خالص اولیه و ضرایب تخصیص کربن در گیاه سویا (*Glycine max* L.) در شهرستان گرگان

سمانه بخشنده لاریمی[۱]، حسین کاظمی[۲*]، افشین سلطانی[۳] و بهنام کامکار[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۰

بخشنده لاریمی، س.، کاظمی، ح.، سلطانی، ا.، و کامکار، ب.، ۱۳۹۹. ارزیابی پتانسیل ترسیب کربن، تولید خالص اولیه و ضرایب تخصیص کربن در گیاه سویا (*Glycine max* L.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۳): ۵۵۹-۵۴۱.

چکیده

تغییر اقلیم و تشدید گرمایش جهانی یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در توسعه پایدار محسوب می‌گردد که ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر می‌باشد. دی‌اکسیدکربن عمده‌ترین جزء گازهای گلخانه‌ای محسوب می‌شود. به‌منظور کاهش دی‌کسیدکربن اتمسفر و ایجاد تعادل در محتوای گازهای گلخانه‌ای، کربن اتمسفر می‌بایست جذب و در شکل‌های آلی ترسیب گردد. به‌منظور برآورد پتانسیل ترسیب کربن در اندام‌های گیاه سویا (*Glycine max* L.) در اراضی زراعی شهرستان گرگان طی سال زراعی ۹۶- ۱۳۹۵، نمونه‌برداری از ۱۵۰ مزرعه به‌روش تصادفی با کوادرات ۰/۵ × ۰/۵ مترمربعی انجام و اندام‌های هوایی و زیرزمینی به‌صورت جداگانه به‌طور کامل برداشت شده و به آزمایشگاه تحقیقات زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل گردید. برای تعیین پتانسیل ترسیب کربن در اندام‌های سویا (شامل غلاف و بذر، ساقه، برگ و ریشه) از روش احتراق استفاده شد. همچنین نسبت اندام هوایی به زیرزمینی و شاخص برداشت به‌منظور تعیین تولید خالص اولیه بر اساس کربن در اندام هوایی، زیرزمینی و کل گیاه و ضرایب تخصیص کربن در هر یک از اندام‌های گیاهی نیز برآورد شد. بعد از بررسی نرمال بودن داده‌ها، با استفاده از انواع روش‌های مختلف درون‌یابی در محیط ArcGIS، توزیع مکانی پتانسیل ترسیب کربن در اندام‌های گیاهی برگ، ساقه، دانه، غلاف و ریشه سویا ترسیم شد. نتایج روش‌های درون‌یابی نشان داد که روش کریجینگ بهترین مدل جهت درون‌یابی پتانسیل ترسیب کربن در اراضی زراعی شهرستان گرگان می‌باشد. میزان پتانسیل ترسیب کربن در برگ، ساقه، دانه، غلاف و ریشه به‌ترتیب ۵۷۹/۶۴، ۷۴۴/۸۱، ۸۸۱/۱۶، ۳۴۰/۱۶ و ۵۴۰/۲۱ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. اصولاً عوامل مختلفی بر میزان ترسیب کربن مؤثرند، به‌عنوان مثال بهبود کیفیت خاک، افزایش میزان مواد آلی خاک و کاهش عملیات خاک‌ورزی از دلایل اصلی افزایش ترسیب کربن است. در مزارع سویا علاوه‌بر بهبود ساختمان خاک به‌واسطه تثبیت زیستی نیتروژن در ریشه‌ها، اضافه کردن بقایای گیاهی از جمله ساقه‌ها به خاک می‌تواند به‌طور مستقیم محتوی ماده آلی بهبود ببخشد و به‌طور غیرمستقیم در بهبود ترسیب کربن تأثیرگذار باشد. همچنین در این تحقیق بعد از دانه، رتبه دوم تجمع کربن به ساقه‌ها اختصاص یافت. علت بالا بودن میزان پتانسیل ترسیب کربن در دانه گیاه سویا را می‌توان فراهمی کمتر رطوبت خاک در هنگام پر شدن دانه‌ها دانست. با توجه به متوسط شاخص برداشت ۳۲ درصد و عملکرد دانه ۳۴۶۱/۱۳ کیلوگرم در هکتار، نسبت اندام هوایی به ریشه ۴/۳۰ و میزان تولید خالص کل گیاه (NPPc) ۶۷۳۴/۸۳ کیلوگرم در هکتار، تولید خالص اندام هوایی (ANPPc) ۴۸۶۷/۲ کیلوگرم در هکتار و تولید خالص بخش زیرزمینی (BNPPc) ۱۸۶۷/۶۳ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. میزان سهم ضریب تخصیص هر یک از اندام‌های اقتصادی، ساقه و برگ، ریشه و ترشحات ریشه به‌ترتیب برابر با ۰/۲۳، ۰/۴۹، ۰/۱۶ و ۰/۱۲تعیین گردید. نتایج پهنه‌بندی نشان داد که در بخش‌های شرقی، شمال و جنوب شرقی بیشترین و در بخش‌های مرکزی، غرب و جنوب غربی محدوده کشاورزی شهرستان گرگان کمترین میزان پتانسیل ترسیب کربن مشاهده شد. به‌طوری‌که، میزان کل پتانسیل ترسیب کربن (مجموع اندام هوایی و زیرزمینی) در گیاه سویا در این بررسی برابر با ۳۰۸۵/۹۸ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. در این بررسی بیشترین میزان سهم نسبی کربن به اندام‌های هوایی (مجموع ساقه و برگ) و بعد از آن‌ها به دانه اختصاص یافت و کربن حاصل از ترشحات ریشه کمتر از سایر اندام‌های گیاه بود، چرا که رابطه مستقیمی بین میزان تسهیم کربن و نوع گونه گیاهی وجود دارد، به‌طوری‌که معمولاً هر چه نسبت بافت‌های چوبی درگیاه بیشتر باشد، توان جذب کربن افزایش می‌یابد. همچنین پایین‌تر بودن سهم اندام زیرزمینی گیاه سویا نسبت به کل اندام هوایی، باعث کاهش میزان حجم ریشه و تراوه‌های ریشه‌ای شده است. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که بین اندام‌های گیاهی از نظر میزان پتانسیل ذخیره‌سازی کربن اختلاف وجود دارد و برخی از عوامل مانند مدیریت زراعی مزرعه، خاک و شرایط اقلیمی می‌تواند بر میزان آن تأثیرگذار باشد.

واژه‌های کلیدی: اندام‌های گیاهی، تولید خالص کربن، درون‌یابی.

مقدمه

تغییرات اقلیمی با رونـد فعلـی، کلیـه بـوم‌نظـام‌هـای طبیعـی و مصنوعی و نیز تولید و امنیت غذایی و ساختار جوامع انسانی را تحـت تـأثیر قـرار داده اسـت (Dieleman et al., 2015; Khan et al., 2009). عامل اصلی وقوع تغییرات درازمدت اقلیمـی در کـره زمـین، گرمایش جهانی ناشی از تشدید اثـرات گلخانـه‌ای بـه‌خصـوص دی‌اکسیدکربن می‌باشد و این امر اثرات زیادی بر بوم‌نظام‌های کشاورزی جهان خواهد گذاشت، زیرا افزایش دمای محیط می‌توانـد بـر میـزان خروج دی‌اکسیدکربن از خاک نیز مؤثر باشـد (Lichtfouse, 2009). همچنین تغییرات اقلیمی می‌تواند بر دوره رشـد آفـات، بیمـاری‌هـا و علف‌های هرز، افزایش خطر انقراض گونه‌های بسـیار آسـیب‌پـذیر و نابودی زیستگاه‌ها، کاهش تنوع زیستی سرعت معدنی شدن، قابلیـت دسترسی به عناصر غذایی، طول فصل رشد، فرآیندهای فیزیولوژیکی گیـاه و کـارکرد بـوم‌نظـام‌هـای زراعـی و طبیعـی تأثیرگـذار باشـد (Dieleman et al., 2015).

غلظت دی‌اکسیدکربن در اتمسفر قبل از آغاز انقلاب صـنعتی در سال ۱۷۵۰ میلادی نیز حدود ۲۸۰ قسـمت در میلیـون بـود. امّـا، در اوایل قرن ۲۱ غلظت این گاز به ۳۷۰ و در سـال ۲۰۱۸ بـه ۴۰۹/۷۸ قسمت در میلیون (NOAA[5]-ESRI[6], 2018) رسید. بـه‌طـور کلـی، فعالیت‌های کشاورزی حدود ۱۰ تا ۱۲ درصـد از کـل نشـت جهـانی گازهای گلخانه‌ای در اثر فعالیت‌هـای انسـانی را در اختیـار داشـته و برآورد شده که سهم آن از انتشـار گازهـای گلخانـه‌ای بـه‌جـز دی‌اکسیدکربن بین ۵۱۲۰ تا ۶۱۱۶ مگاتن معادل دی‌اکسیدکربن در سال باشد (Smith et al., 2007).

به عملیـاتی کـه در بـوم‌نظـام زراعـی و طبیعـی، باعـث انتقـال دی‌اکسیدکربن موجود در اتمسفر به مخازن به‌صورت طـولانی‌مـدت شده و کربن را به‌شکلی حفظ مـی‌نمایـد کـه بلافاصـله بـه اتمسـفر برنگردد و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در اتمسفر را کـاهش دهـد، ترسیب کربن[7] گفته می‌شود (Jose & Bardhan, 2012; Luedling et al., 2014; Ramachandran Nair et al., 2010; Verchot et al., 2007;). جانسون و همکاران (Jansson et al., 2010) جایگـاه گیاهان را از نظر ترسیب کربن در سه بخش معرفی نمودند: ۱- ذخیره کربنی گیاه، که به‌عنوان تولید خالص بوم‌نظام و بیوم در نظـر گرفتـه می‌شود. ۲- گیاهان به‌عنوان مسیر ترسـیب زیسـتی کـربن در نظـر گرفته می‌شوند، که خود شامل بخش‌هایی از جمله زیست‌توده گیاهی، زغال زیستی، فیتولیت‌ها، دفن چوب و محصولات زیست انرژی می‌باشد. ۳- رویکردهای مهندسی ژنتیک جهت افزایش ترسیب گیـاهی که شامل: افزایش دادن فتوسنتز، افزایش اختصاص کربن به ریشه‌ها، افزایش تحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده، افزایش کیفیت زیسـت‌توده و تولید گیاهان چندساله پر محصول می‌باشند.

رابطه مستقیمی بین کربن ترسیب شده بـا نـوع گونـه گیـاهی و اندام‌های گونه گیاهی وجود دارد (Frank & Karn, 2003; Singh et al., 2003). به‌عنوان مثال، جعفریان و سید علیخانی (Jafarian & Tayefeh Seyyed Alikhani, 2012) بیان نمودند میـزان ترسـیب کربن در اندام‌های مختلف گیاه زراعی گندم (*Triricum aestivum* L.) تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشته و سـنبله‌هـا بیشترین و ریشه‌ها کمترین توان ترسیب کربن را دارند. همچنین آنان گزارش نمودند که میزان پتانسیل ترسیب کربن در زیست‌تـوده گیـاه زراعی ۱/۸۸۴ تن در هکتار و در خاک ۱۶/۳۳۲ تن در هکتار می‌باشد. نتایج تحقیقات نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri Mahallati et al., 2014) روی هفت گونه گیـاه زراعـی گنـدم، جـو (*Hordeum vulgare* L.)، ذرت (*Zea mays* L.)، بـرنج (*Oryza sativa* L.)، یونجه (*Medicago sativa* L.)، پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) دراقلیم‌های مختلف کشور با استفاده از مدل ICBM[8]، نشان داد بیشترین ورودی کـربن توسـط یونجـه و پنبه و کمترین آن مربوط به نخود می‌باشد. همچنـین ایـن دو گیـاه بالاترین میزان کربن ترسیب شده به خاک را دارا بودند. کمترین مقدار

۱- دانشجوی دکتری رشته زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علـوم کشـاورزی و منـابع طبیعی گرگان، ایران.
۳- استاد گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشـگاه علـوم کشـاورزی و منـابع طبیعی گرگان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: hkazemi@gau.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i3.79031

5- National Oceanic and Atmospheric Administration
6- Environmental Systems Research Institute
7- Carbon sequestration
8- Introductory carbon balance model

آن در گیاه نخود مشاهده شد. لی و همکاران (Li et al., 2016) با مطالعه روی نظام زراعی گندم پائیزه- ذرت بهاره در طی چهار سال بیان نمودند که، برگرداندن بقایای کاه و کلش ذرت و گندم منجر به بهبود عملکرد و ترسیب کربن و در نهایت، منجر به بهبود این نوع نظام زراعی شده است.

استفاده از زمین آمار می‌تواند در بررسی تغییرات مکانی اراضی کشاورزی جهت برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تر کمک نماید (Ayobi et al., 1998). زمین آمار به‌مفهوم اروپایی آن، شاخه‌ای از آمار است که در آن مختصات داده‌های مربوط به جامعه بررسی و ساختار مکانی آن‌ها، مطالعه می‌گردد. روش‌های مختلف زمین‌آمار بسته به نوع متغیر، دقت متفاوتی دارند. در کل زمین آمار به بررسی متغیرهایی می‌پردازد که دارای ساختار مکانی هستند و یا به‌عبارتی بین مقادیر، فاصله و جهت قرار گرفتن مقادیر ارتباطی مکانی وجود دارد (Hasanipak, 1998).

از آن‌جا که نوع مدیریت نظام زراعی تأثیر به‌سزایی بر میزان تولید گیاهان دارد (Lambers et al., 2008)، به نظر می‌رسد که توجه به میزان تولید خالص اولیه گیاهان به‌عنوان برآوردی از میزان دی‌اکسیدکربن جذب شده به‌وسیله گیاهان امری ضروری باشد. به‌عبارت دیگر، تعیین تولید خالص اولیه گیاهان در نظام‌های مختلف زراعی می‌تواند به‌عنوان راهکاری پایدار برای کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر مد نظر قرار گیرد (Kutsch et al., 2010; Lambers et al., 2008). تولید خالص اولیه به مجموع کربن خالصی که در فرآیند فتوسنتز از اتمسفر جذب و در اندام‌های مختلف هوایی (ANPP[9]) و زیرزمینی (BNPP[10]) گیاه تثبیت شده و تنفس گیاه از آن کسر گردد، گفته می‌شود، که برگردانیدن آن به خاک می‌تواند باعث کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن شود (Gan et al., 2009; Lambers et al., 2008; Smit et al., 2010). دویکر و لال (Duiker & Lal, 2000) بیان نمودند هر عامل مدیریتی که مؤثر بر رشدونمو گیاه باشد، به‌طورمعنی‌داری تولید خالص گیاه را که نشان‌دهنده کربن جذب شده است، تحت تأثیر قرار می‌دهد. بدین ترتیب، تعیین میزان تولید خالص اولیه گیاهان از یک طرف نشان‌دهنده تولید زیست‌توده گیاهی و از طرف دیگر، برآوردی از میزان دی‌اکسیدکربن جذب شده از اتمسفر می‌باشد. بنابراین، به نظر می‌رسد انتخاب گونه‌های گیاهی که تولید زیست‌توده بالاتری داشته باشند، می‌توانند به‌عنوان راهکاری پایدار برای کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن در آینده مد نظر قرار گیرند. علاوه‌براین، با محاسبه میزان تولید خالص اولیه و برآورد ضرایب نسبی تسهیم کربن به اندام‌های مختلف گونه‌های مهم گیاهی، می‌توان سهم هر یک از اندام‌های گیاهی را از میزان دی‌اکسیدکربن جذب شده برآورد و تعیین کرد. از طریق راهکارهای افزایش ذخیره کربنی بوم‌نظام‌های کشاورزی از جمله بررسی توانایی و پتانسیل مکانی مزارع از نظر ترسیب کربن، شناسایی پتانسیل گیاهان زراعی تحت کشت در منطقه و نقش بقایای گیاهان زراعی در ترسیب کربن، می‌توان در راستای کشاورزی پایدار در مقیاس منطقه‌ای و در مقیاس جهانی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به جو، گرمایش جهانی و کاهش اثرات سوء تغییر اقلیم گام برداشت.

علاوه‌بر اهمیت سویا (*Glycine max* L.) به‌عنوان یک گیاه روغنی، سازگاری آن به شرایط موجود در منطقه گلستان از جمله شرایط اقلیمی، خاکی و نیز تأمین نیاز آبی آن، باعث گسترش کشت سویا در استان گلستان شده است. همچنین نقش این گیاه در بهبود خصوصیات خاک از طریق سیستم ریشه‌ای راست و عمیق آن، ترکیب بقایای گیاهی نظیر برگ‌های ریزش یافته، جایگاه آن در تناوب زراعی، حفظ رطوبت به‌دلیل شاخ و برگ آن، افزایش نیتروژن خاک از طریق تثبیت زیستی نیتروژن و ارتقاء سلامت زیستی خاک نیز بارز است. ماهیت لگوم بودن آن سبب شده تا گیاه سویا برای قرار گرفتن در بسیاری از نظام‌های زراعی و الگوهای تناوبی مناسب باشد. مقدار نیتروژن تثبیت شده توسط سویا با توجه به شرایط آب‌وهوایی طی دوره رشد، شرایط خاک، فعالیت‌های زراعی، ژنوتیپ و نظایر آن، متفاوت است. بر اساس آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان میانگین عملکرد دانه سویا در سال ۱۳۹۵، دو هزار و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار و میزان کل تولید در گرگان ۴۹ هزار و ۴۵۰ تن اعلام شده است. سطح زیر کشت آن در سال ۱۳۹۶ در کل استان ۲۲۱۳۷ هکتار و در شهرستان گرگان ۱۱۲۰۰ هکتار و در سال ۱۳۹۷ در کل استان ۲۴۲۴۰ هکتار و در شهرستان گرگان ۱۰۴۰۰ هکتار بوده است. با توجه به توانایی گیاه سویا در ترسیب کربن و با توجه به افزایش سطح زیر کشت سویا در استان گلستان در سال ۱۳۹۷، هدف از این مطالعه برآورد پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های مختلف گیاهان زراعی شامل دانه، برگ، ساقه، ریشه و تحلیل مکانی آن، برآورد ضرایب تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی و زیرزمینی، ضرایب نسبی تسهیم کربن، میزان کربن تسهیم یافته و تولید خالص اولیه اندام‌های

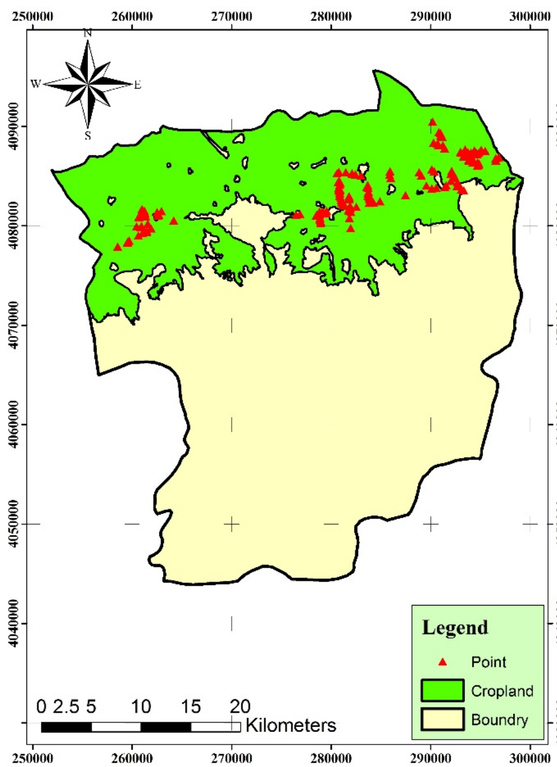
1- Above-ground net primary production (ANPP)
2- Below-ground net primary production (BNPP)

هوایی و زیرزمینی توسط گیاه زراعی سویا در شهرستان گرگان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

این آزمایش با هدف ارزیابی پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی سویا در مزارع تولید این گیاه در شهرستان گرگان در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. شهرستان گرگان با میانگین درازمدت بارندگی سالانه ۴۲۲/۵ میلی‌متر، ارتفاع ۱۳/۳ متر از سطح دریا و میانگین درازمدت دمای سردترین و گرم‌ترین ماه سال به‌ترتیب ۷/۹ درجه سانتی‌گراد در بهمن ماه و ۲۸/۵ درجه سانتی‌گراد در مرداد ماه در استان گلستان واقع شده است. این شهرستان در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی قرار دارد (شکل ۱). در این منطقه معمولاً یک فصل معتدل و نیمه‌مرطوب (از اواسط پاییز تا اوایل بهار) به‌وسیله یک فصل نسبتاً گرم و نیمه‌مرطوب دنبال می‌شود (Golestan Province Meteorological Office, 2016).



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه در شهرستان گرگان همراه با محل نمونه‌برداری از مزارع

Fig. 1- Studied area in Gorgan township and sampling points from fields

برآورد پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های مختلف سویا

از آن‌جا که در تمامی مزارع منطقه گرگان، سویا کشت نمی‌شود، ابتدا در گوگل‌ارث پهنه‌های کشاورزی جدا شد و فواصل هر مزرعه با توجه به گستردگی زیاد منطقه به‌صورت تصادفی تعیین و سپس نمونه‌برداری به‌صورت مستقیم و در دهستان‌های مربوطه از سمت شرق به غرب و از شمال به جنوب و در هر دهستان با تعداد برابر نمونه‌برداری انجام شد. در مجموع، ۱۵۰ مزرعه انتخاب گردید. نمونه‌برداری با حداکثر پراکنش در مناطق تحت کشت سویا با روش تصادفی با کوادرات ۰/۵ × ۰/۵ مترمربعی انجام شد (شکل ۱) و اندام‌های هوایی و زیرزمینی در هر پلات به‌صورت جداگانه به‌طور

کامل برداشت شدند. زمان برداشت اندام‌های رویشی و زایشی شامل ساقه، برگ، غلاف، دانه و ریشه در پاییز ۱۳۹۶ از ۱۰ آبان ماه آغاز شده بود. بعد از جمع‌آوری، نمونه‌ها به آزمایشگاه تحقیقات زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل گردید.

برای تعیین ضرایب تبدیل ترسیب کربن در اندام‌های چهارگانه سویا (شامل غلاف و بذر، ساقه، برگ و ریشه) از روش احتراق (Conen & Smith, 1998; Forozeh et al., 2008) استفاده شد. بر این اساس، اندام‌های برداشت شده به‌تفکیک در آون به‌مدت ۴۸ ساعت (در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد) خشک و سپس آسیاب شده و پس از ترکیب، نمونه‌های دو گرمی در کوره احتراق (به‌مدت سه ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد. خاکستر نمونه‌ها پس از خنک شدن در دسیکاتور، توزین شد. با تعیین وزن خاکستر و وزن اولیه ماده آلی، محتوی کربن آلی هر یک از اندام‌های گیاهی به‌طور جداگانه با استفاده از معادله ۱ تعیین شد (Polidori et al., 2008):

$$\%OC=\%OM\times0.54 \quad \text{(۱) معادله}$$

که در این رابطه، OC و OM: به‌ترتیب مقدار کربن آلی (درصد) و مقدار ماده آلی (درصد) را نشان می‌دهد.

در نهایت، با در دست داشتن وزن اولیه و کربن آلی برای هر یک از بخش‌های زیست‌توده هوایی و زیرزمینی، ضریب تبدیل محاسبه شد. از حاصل‌ضرب ضریب تبدیل کربن آلی در وزن زیست‌توده گیاهی، وزن کل کربن ترسیب شده در هر کوادرات محاسبه شد.

تحلیل‌های مکانی

ابتدا نرمال بودن توزیع فراوانی داده‌ها با محاسبه کشیدگی، چولگی و آزمون‌های شاپیرو- ولک و کولوموگروف- اسمیرنوف با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد (Keravchenko & Bullock, 1999). پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، در محیط Arc GIS با استفاده از روش‌های مختلف میان‌یابی شامل کریجینگ ساده[11]، روش عکس مجذور فاصله[12]، روش تابع شعاعی[13]، روش میان‌یابی چند جمله‌ای موضعی[14] میزان پتانسیل ترسیب کربن در اندام‌های مختلف گیاهی تخمین زده شد.

ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی نیز با استفاده از روش اعتبارسنجی جکنایف برای برازش صحت تخمین روش‌های میان‌یابی استفاده شد. این روش بر این اساس استوار است که هر بار یکی از نقاط معلوم حذف شده و سپس مقدار آن نقطه از روی نقاط مجاور مقداری برآورد گردید، سپس مقدار واقعی به محل واقعی برگردانده شد و برای تمامی نقاط، این عمل تکرار شد (Hasanipak, 1998). در نهایت، با توجه به مقادیر مشاهده شده و برآورد شده دقت هر روش با توجه به معیارهای آماری میانگین مطلق خطا[15]، میانگین اریب خطا[16] و خطای برآورد ریشه دوم میانگین مربعات[17] محاسبه گردید (Webster& Oliver, 2000). مقدار این معیارها با استفاده از معادله‌های ۲ تا ۴ محاسبه شدند (Mahdian, 2007):

معادله (۲) میانگین مطلق خطا (MAE):

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n} |Z^*(x_i) - Z(x_i)|}{n}$$

معادله (۳) میانگین انحراف خطا (MBE):

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n} (Z^*(x_i) - Z(x_i))}{n}$$

معادله (۴) ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE):

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{K=1}^{N} Z(x_i) - Z^*(x_i))^2}$$

در این معادلات، $Z^*(X_i)$: مقدار برآورد شده، $Z(X_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده در نقطه Xi و N: تعداد نقاط می‌باشد. صحت مدل با MAE تعیین می‌شود که مقدار صفر آن نشان‌دهنده صحت ۱۰۰ درصد است و هر چه مقدار آن از صفر فاصله داشته باشد، حاکی از کم شدن صحت مدل است. معیار ارزیابی MBE: نیز بیانگر میانگین انحراف است. این معیار علاوه‌بر دارا بودن علامت مثبت (بیش‌آوری مدل) و یا علامت منفی (کم‌آوری مدل) مقدار انحراف از مقادیر مشاهده شده را نیز نشان می‌دهد. MBE برابر صفر نشان می‌دهد که برآورد مدل خوب بوده است و در آن هیچ‌گونه انحرافی وجود ندارد. از نظر تئوری، هر گاه این دو معیار برابر صفر شوند، نمایانگر این است

1- Simple Kiriging
2- Inverse Distance Weights
3- Radial Basis Function
4- Local polynomialinterpolation

5- Mean Absolute Error
6- Mean Bias Error
7- Root Mean Square Error

که مقدار تخمین یک کمیت، به‌طور دقیق برابر مقدار واقعی آن است (Kazemi et al., 2012). به‌طور معمول، هر چه مقدار این دو معیار و همچنین، ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) کم‌تر باشد، صحت روش بیشتر است. بهترین برآورد باید کمترین RMSE را داشته باشد و RMSE باید به یک نزدیکتر باشد، به این معنی است که RMSE برابر با S یا واریانس است (Mozaffari et al., 2012). با مقایسه مدل‌های میان‌یابی، بهترین مدل برای هر یک از موارد پتانسیل ترسیب کربن در اندام‌های گیاه سویا بر اساس کمترین خطا (RMSE) شناسایی گردید و لایه رستری آن بر اساس محدوده اراضی زراعی تهیه شد.

میزان تولید کربن پتانسیل تسهیم کربن و برآورد تولید خالص اولیه کربن

از آن‌جا که در هر گرم ماده خشک حدود ۰/۴۵ گرم کربن (۴۵ درصد) موجود می‌باشد (Bolinder et al., 2007)، برای محاسبه میزان کربن موجود در بخش‌های مختلف گیاهی (اندام اقتصادی، شاخه و برگ، ریشه و ترشحات و تراوه‌های ریشه‌ای) (شکل ۱)، از معادله‌های ۵ تا ۸ استفاده شد (Bolinder et al., 2007):

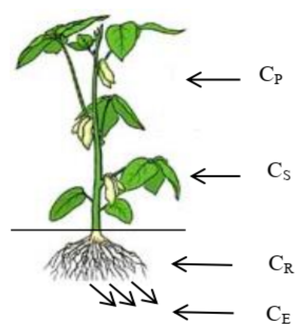
معادله (۵) C_p = عملکرد اندام اقتصادی ×۰/۴۵

معادله (۶) C_s = (عملکرد اندام اقتصادی (1- HI) /HI) × ۰/۴۵

معادله (۷): C_R = (عملکرد اندام اقتصادی /S: R × HI) × ۰/۴۵

معادله (۸): $C_E = C_R \times$ ۰/۶۵

که در این معادلات، CS: کربن موجود در شاخه و برگ، CP: کربن موجود در اندام اقتصادی، CR: کربن موجود در ریشه، CE: کربن شامل ترشحات، تراوه‌ها و بقایای ریشه‌ای در خاک، S:R: نسبت اندام هوایی به زیرزمینی و HI: شاخص برداشت می‌باشد که مقدار این کربن بر اساس منابع مختلف حدود ۶۵ درصد کربن موجود در ریشه در نظر گرفته شد (Bolinder et al., 2007; Gill et al., 2002).



شکل ۲- کربن تسهیم یافته به اندام‌های هوایی و زیرزمینی سویا

Fig. 2- Allocated carbon to shoot and root tissues of soybean

C_S: کربن موجود در ساقه و برگ، C_P:کربن موجود در اندام اقتصادی، CR کربن موجود در ریشه، C_E: کربن شامل ترشحات، تراوه‌ها و بقایای ریشه‌ای در خاک (Khorramdel et al., 2018)

C_S: Carbon in Leaf and Stem, C_P Carbon in the economic organ: C_R: Carbon in the root: C_E: Carbon including secreted and permeate material and root exudates in the soil. (Khorramdel et al., 2018)

تولید خالص اولیه بر اساس کربن برای اندام هوایی (ANPPc) و زیرزمینی (BNPPc) نیز به‌ترتیب از مجموع کربن اختصاص یافته به اندام‌های هوایی (شامل C_S و C_P) و زیرزمینی (شامل C_R و C_E) برآورد شد (Bolinder et al., 2007). سپس تولید خالص اولیه بر اساس میزان کربن تسهیم یافته (NPPc) با استفاده از معادله ۹ محاسبه شد:

معادله (۹) $NPP_c = C_P + C_S + C_R + C_E$

همچنین سهم نسبی هر یک از اندام‌های گیاهی از تولید خالص کربن با استفاده از معادله‌های ۶ تا ۹ محاسبه گردید (Bolinder et al., 2007).

معادله (۱۰) $R_P = C_P / NPPc$

معادله (۱۱) $R_S = C_S / NPPc$

معادله (۱۲) $R_R = C_R / NPPc$

معادله (۱۳) $R_E = 1 - (R_P + R_S + R_R)$

که در این معادله‌ها، NPPc: تولید خالص اولیه بر اساس کربن در کل گیاه و R_P، R_S، R_R و R_E: به‌ترتیب نشان‌دهنده سهم نسبی اندام اقتصادی، شاخه و برگ، ریشه و ترشحات ریشه از کل کربن موجود در گیاه می‌باشند. ضمناً در ضرایب فوق معادله ۱۴ نیز باید صادق باشد (Bolinder et al., 2007):

$$R_P + R_S + R_R + R_E = 1 \qquad (۱۴)\ \text{معادله}$$

بررسی نرمال بودن، توزیع فراوانی و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج آزمون‌های نرمال بودن داده‌ها نشان داد که مقادیر چولگی و کشیدگی همه داده‌ها در حد فاصل ۲+ و ۲- قرار دارند و نیز بر اساس نتایج آزمون کولموگراف و شاپیرو نیز مشخص شد که مقادیر معنی‌داری بزرگ‌تر از پنج درصد بوده ($P\geq0.05$)، در نتیجه داده‌ها نرمال بوده‌اند (جدول ۱).

شاخص برداشت و ضرایب تسهیم کربن

میزان شاخص برداشت، نسبت اندام‌های هوایی به زیرزمینی و ضریب تسهیم مربوط به هر بخش در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج بررسی وضعیت نرمال بودن داده‌ها با استفاده از چولگی، کشیدگی، کولموگراف و شاپیرو در اندام‌های مختلف گیاه سویا

Table 1- Normality of data results using skewness, kurtosis, Kolmogorov-Smirnov and Shapirov-Wilkstatis indices in different blow-ground and above ground organs of soybean

متغیر Variables	چولگی Kurtosis		کشیدگی Skewness		کولموگراف- اسمیرنف Kolmogorov-Smirnov		شاپیرو- والک Shapirov-Wilkstatis	
	Statistic آماره	Std. error انحراف معیار	Statistic آماره	Std. error انحراف معیار	Statistic آماره	Sig. معنی‌داری	Statistic آماره	Sig. معنی‌داری
برگ Leaf	0.3	0.39	0.19	0.19	0.034	0.2	0.99	0.52
ساقه Stem	0.37	0.39	-0.016	0.19	0.050	0.2	0.99	0.60
دانه Seed	0.08	0.39	0.26	0.19	0.060	0.2	0.99	0.43
غلاف Pod	0.6	0.39	0.14	0.19	0.060	0.2	0.98	0.05
ریشه Root	0.04	0.39	-0.08	0.19	0.060	0.2	0.99	0.40

جدول ۲- شاخص برداشت (HI)، نسبت اندام هوایی به زیرزمینی (S:R) و ضریب تسهیم کربن در اندام‌های Rp (اندام اقتصادی یا دانه)، R_S (شاخه و برگ)، R_R (ریشه) و R_E (تراوه‌های ریشه‌ای) در گیاه سویا و میزان تولید خالص اولیه کربن در کل گیاه (NPP_C)، سهم اندام‌های هوایی ($ANPP_C$) و زیرزمینی ($BNPP_C$) گیاه سویا

Table 2- Harvest index (HI), Shoot to Root ratio (S:R) and carbon sequestration coefficient in R_p (economic organs or seed), R_S (Stem and leaf), R_R (Root) and R_E (Root **exudates**) in soybean and total net production of carbon in the plant (NPPC), **Above-ground net primary production** (ANPPC) and below ground (BNPPC) of soybean plant

متغیر Variable	HI	S:R	R_P	R_S	R_R	R_E	$ANPP_C$ (kg.ha^{-1}) تولید خالص کربن اندام هوایی	$BNPP_C$ (kg.ha^{-1}) تولید خالص کربن اندام زیرزمینی	NPP_C (kg.ha^{-1}) تولید خالص کربن کل گیاه
	0.32	4.30	0.23	0.49	0.16	0.12	6734.83	4867.2	1867.63

متوسط شاخص برداشت گیاه سویا ۰/۳۲ به‌دست آمد. با توجه به اینکه بالاتر بودن شاخص برداشت و همچنین نسبت اندام‌های هوایی به زیرزمینی به مفهوم خارج شدن کربن کمتر به خاک می‌باشد، بنابراین می‌توان چنین بیان نمود که اثر این دو صفت بر میزان تولید خالص کربن و همچنین ورودی کربن منفی می‌باشد (Bolinder et al., 2007). به‌عبارتی، کمتر بودن میزان این صفات با پتانسیل بالای

ورودی کربن به خاک همراه خواهد بود و گیاهانی که شاخص برداشت و نسبت اندام‌های هوایی به زیرزمینی کمتری دارند، پتانسیل بالایی در ترسیب کربن خواهند داشت، هر چند میزان تولید گیاه نیز در این امر نقش بسزایی دارد.

برآورد ضرایب نسبی تسهیم کربن در اندام‌های مختلف، سهم هر یک از اندام‌های گیاهی را از مقدار دی‌اکسیدکربن جذب شده را تعیین می‌کند و با توجه به مقدار بقایای اندام‌های مختلف هر گیاه که به خاک برگردانده می‌شود، می‌توان میزان ترسیب کربن توسط هر محصول را برآورد کرد (Khorramdel et al., 2011).

سهم نسبی کربن در اندام‌های مختلف گیاهی از کل کربن موجود در گیاه نیز در جدول ۲ آورده شده است. بیشترین کربن موجود در گیاه سویا به ساقه (۰/۴۹) و ریشه (۰/۱۶) اختصاص یافته است. همچنین سهم ترشحات ریشه‌ای (۰/۱۲) از کل کربن موجود در گیاه کمتر از سایر اندام‌ها بود. علت آن را می‌توان پایین‌تر بودن سهم اندام زیرزمینی گیاه سویا نسبت به کل اندام هوایی دانست که باعث کاهش میزان حجم ریشه و تراوه‌های ریشه‌ای شده است. این نتایج با نتایج تحقیقات نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri Mahallati et al., 2015) روی گیاهان برنج و ذرت و خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2018) روی گیاه یونجه مطابقت داشت. همچنین بولیندر و همکاران (Bolinder et al., 2007) نیز گزارش نمودند که ضریب تسهیم کربن در ترشحات ریشه‌ای در گیاه ذرت پایین بوده و در حدود ۰/۰۸۹ و برای اندام اقتصادی، کاه و کلش و ریشه ذرت به‌ترتیب برابر با ۰/۳۷، ۰/۳۹ و ۰/۱۴ می‌باشد. بنا به گزارش فروزه و همکاران (Forozeh et al., 2008) رابطه مستقیمی بین میزان تسهیم کربن و نوع گونه گیاهی وجود دارد، به‌طوری‌که معمولاً هر چه نسبت بافت‌های چوبی درگیاه بیشتر باشد، توان جذب کربن افزایش می‌یابد. همچنین علت بالا بودن کربن موجود در دانه به‌احتمال زیاد به فراهمی کمتر آب در زمان پر شدن دانه مرتبط دانست. در این راستا، در پژوهشی جعفریان و سید علیخانی (Jafarian & Tayefeh Seyyed Alikhani, 2012) با بررسی پتانسیل ترسیب کربن در اراضی گندم دیم منطقه کیاسر اظهار داشتند که خوشه بیشترین و ریشه کمترین توان ذخیره کربن را دارا می‌باشند. بولیندر و همکاران (Bolinder et al., 2007) و گیل و همکاران (Gill et al., 2002) نیز نشان دادند که میزان ترسیب کربن در زیست‌توده هوایی بیشتر از زیست‌توده اندام‌های زیرزمینی بود. خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2011) نیز با ارزیابی اثر نوع مدیریت نظام زراعی بر میزان کربن تسهیم یافته به اندام‌های هوایی و زیرزمینی و تولید خالص این اندام‌ها گزارش نمودند که بالاترین میزان کربن تسهیم یافته به دانه و اندام‌های هوایی مربوط به نظام پرنهاده به‌ترتیب با ۲۶۰/۵ و ۵۷۸/۶ گرم کربن بر مترمربع در فصل زراعی بود و کمترین میزان به نظام کم نهاده بر پایه مصرف کمپوست به‌ترتیب با ۱۵۹/۰ و ۳۰۲/۹ گرم کربن بر مترمربع در فصل زراعی اختصاص داشت.

تولید خالص اولیه بر اساس کربن (NPPc)

مقدار NPPc در گیاه سویا برابر با ۶۷۳۴/۸۳ کیلوگرم کربن در هکتار و مقدار تولید خالص اولیه بر اساس کربن در اندام هوایی و زیرزمینی سویا به‌ترتیب ۴۸۶۷/۲ و ۱۸۶۷/۶۳ کیلوگرم کربن در هکتار برآورد شد (جدول ۲). نوربخش و همکاران (Noorbakhsh et al., 2016) نیز در تحقیقات خود تولید خالص کربن در کشت خالص سویا با عملکرد دانه ۲۶۵۵ کیلوگرم در هکتار، ۳۸۶۰/۷ کیلوگرم در هکتار گزارش نمودند. در بررسی نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri Mahallati et al., 2015) روی گیاه نخود در مناطق مختلف آب‌وهوایی بیان نمودند بیشترین مقدار NPPc مربوط به اقلیم گرم و مرطوب جنوبی و مرطوب خزری به‌ترتیب با ۱۷۴۳ و ۱۳۸۴/۴ کیلوگرم کربن در هکتار بوده که علت را در رشد رویشی زیاد این گیاه در دو منطقه دانستند. نتایج سایر مطالعات نیز نشان داده است که یونجه با ۱۳۴۳۶۰/۰۶ گرم کربن در مترمربع از بالاترین میزان تولید خالص اولیه برخوردار است (Betts et al., 2007). بولیندر و همکاران (Bolinder et al., 2007) نیز میزان NPPc برای گیاهان یکساله را حدود ۳۶۰ گرم کربن در مترمربع گزارش نمودند.

برآورد پتانسیل ترسیب کربن در اندام‌های هوایی

نتایج نشان داد که در بین روش‌های مختلف زمین آماری، روش کریجینگ کمترین خطا و بالاترین صحت را داراست. بعد از روش کریجینگ، مدل عکس مجذور فاصله در مکان بعدی قرار گرفت. از بین ۱۲روش-مدل مورد استفاده در این مطالعه، روش تابع شعاعی مدل تین، بالاترین خطا و کمترین صحت را نشان داد و نامناسب‌ترین روش شناخته شد (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج ارزیابی روش‌های زمین آماری در تخمین میزان پتانسیل ترسیب کربن در برگ و ساقه گیاه سویا در شهرستان گرگان

Table 3- The geostatistical methods assessment results in estimating the amount of potential carbon sequestration in soybean leave and stem in croplands of Gorgan Township

مدل Model		میانگین مطلق خطا MAE		میانگین انحراف خطا MBE		ریشه دوم میانگین مربعات خطا RMSE	
		برگ Leaf	ساقه Stem	برگ Leaf	ساقه Stem	برگ Leaf	ساقه Stem
وزن‌دهی معکوس فاصله Invers Distance Weighting	توان ۱ 1st power	90.68	54.58	-2.92	-4.70	116.86	71.67
	توان ۲ 2nd power	96.42	54.77	3.65	-1.36	125.58	72.47
	توان ۳ 3rd power	100.81	57	6.09	0.10	134.05	75.98
تابع پایه شعاعی RBF	چندربعی Multi-quadratic function	96.45	59.70	4.16	0.0004	128.59	80.27
	چندربعی معکوس Invers Multi-quadratic function	88.91	53.15	-6.71	-5.37	116.55	71.27
	نواری کم ضخامت Thin-plate spiline	112.46	76.84	4.83	-3.83	148.44	108.97
میان‌یابی چندجمله‌ای محلی Local Plynomial Interpolation	درجه ۱ 1st order	95.18	59.25	3.47	3.85	120.53	76.47
	درجه ۲ 2nd order	55.66	59.93	1.04	1.32	123.48	79.44
	درجه ۳ 3rd order	103.80	58.17	7.40	2.42	141.41	77.01
کریجینگ Kriging	ثابت Stable	80.52	47.06	0.45	-1.68	103.96	65.63
	جی- بیس J-Bassel	95.25	55.24	0.11	-0.48	121.15	73.93
	گوسین Gaussin	95.25	56.03	0.11	0.41	121.15	73.22
	نمایی Exponential	95.25	48.35	0.11	-1.36	121.15	66.54
	کروی Spherical	95.25	52.19	0.11	-0.10	121.15	69.09
	چرخشی Circular	95.25	52.80	0.11	0.007	121.15	69.48

توزیع مکانی میزان ترسیب کربن در برگ سویا در چهار کلاس در شکل ۳ الف نشان داده شده است. با توجه به ساده بودن محاسبات و کم‌هزینه بودن تخمین میزان ترسیب کربن در برگ گیاه سویا با روش کریجینگ، از این نقشه می‌توان در مدیریت محصولات زراعی شهرستان گرگان استفاده کرد. نتایج پهنه‌بندی ترسیب کربن در این بخش از اندام گیاهی نشان می‌دهد که مقدار آن در بخش‌های شمال شرقی (۵۱۱-۲۴۲/۲۴ کیلوگرم در هکتار) کمتر از مناطق مرکز، جنوب و جنوب غربی است (۷۷۹/۷۵ – ۵۱۱ کیلوگرم در هکتار) (شکل ۳ الف). ترسیب کربن توسط گیاه و به‌خصوص گونه‌های بوته‌ای ساده‌ترین و به‌لحاظ اقتصادی ارزان‌ترین روش برای ترسیب کربن به‌شمار می‌رود که این نقش را گیاهان توسط عمل فتوسنتز و از طریق اندام‌های خود انجام می‌دهند و هر یک از اندام‌های آن‌ها دارای نقش متفاوتی در این فرآیند هستند (Forozeh et al., 2008; Frank & Karn, 2003). از این رو، میزان ترسیب کربن در واحد زمان به خصوصیات رشدی گونه‌های گیاهی و شیوه‌های مدیریت، روش احیا و شرایط محیطی به‌ویژه مقدار بارندگی، تغییر کاربری

اراضی، شرایط فیزیکی و زیستی خاک و ذخیره قبلی کربن در خاک بستگی دارد (Post & Caon, 2000). بنابراین، با توجه به نتایج می‌توان علت بالا بودن پتانسیل ترسیب در نواحی غربی شهرستان را به‌علت بالا بودن حجم زیست توده و دسترسی به منبع رطوبتی بیشتر دانست. جعفریان و سید علیخانی (Jafari & TayefehSeyyed Alikhani, 2012) نیز در تحقیقات خود روی گندم بیان نمودند کمترین میزان ترسیب کربن مربوط به برگ‌هاست. آن‌ها علت کاهش پتانسیل ترسیب کربن را در برگ را بالا بودن مواد معدنی بیان نمودند.

در بین روش‌های مختلف زمین آماری، روش کریجینگ دارای کمترین خطا و بالاترین صحت بود. بعد از روش کریجینگ، مدل عکس مجذور فاصله، در مکان بعدی قرار گرفت. از بین ۱۲ روش-مدل مورد استفاده در این مطالعه، روش مدل تابع پایه شعاعی مدل تین، بالاترین خطا و کمترین صحت را نشان داد و نامناسب‌ترین روش شناخته شد (جدول ۳). نقشه پهنه‌بندی میزان ترسیب کربن در ساقه سویا در چهار کلاس در شکل ۳ ب نشان داده شده است. نقشه پهنه‌بندی شده نشان می‌دهد که مقدار آن از شرق به غرب افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که حداکثر مقدار آن در غرب ۸۹۷/۶۷ کیلوگرم در هکتار و حداقل مقدار آن در شرق ۵۲۰/۵۹ کیلوگرم در هکتار است (شکل ۳ ب). میزان پتانسیل ترسیب کربن زیست‌توده کل سویا (مجموع پتانسیل ترسیب اندام هوایی و زیرزمینی ۳۰۸۵/۹۸ کیلوگرم در هکتار) نیز نشان داد که ذخیره کربن در زیست‌توده هوایی (۲۵۴۵/۷۷ کیلوگرم در هکتار) بیش از ریشه‌ها (۵۴۰/۲۱ کیلوگرم در هکتار) بود که این یافته با نتایج مطالعات جعفری و سید علیخانی (Jafari & TayefehSeyyed Alikhani, 2012)، جائو و همکاران (Gao et al., 2007) و یانگ ژانگ (Yong Zhong, 2007) که نشان دادند میزان ترسیب کربن در زیست‌توده هوایی بیشتر از زیست-توده زیرزمینی است، مطابقت دارد. سروی و متین‌فر (Sarvi & Matinfar, 2016) نیز در تحقیقات خود روی سه گیاه کلزا (*Brassica napus* L.)، ذرت و یونجه، بالاترین میزان ترسیب کربن را در اندام هوایی یونجه گزارش نمودند. در مطالعه‌ای مجموع پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی کلزا ۵/۱۲ تن در هکتار به‌دست آمد، بالاترین و پایین‌ترین پتانسیل ترسیب کربن به‌ترتیب برای ساقه با ۱/۸۱ تن در هکتار و برگ با ۰/۷۶ تن در هکتار گزارش شد (Khorramdel et al., 2016). فروزه و همکاران (Forozeh et al., 2008) پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های سه گونه گل آفتابی (*Cistus monspeliensis* L.)، سیاه گینه (*Dendrostellera lessertii* (Wikstr.)Van Tiegh) و درمنه دشتی (*Artemisia sieberi* Besser) را از نظر آماری متفاوت گزارش نموده و بیان داشتند که در مقایسه اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی، ساقه‌ها بالاترین توان و برگ‌ها کمترین توانمندی را در ترسیب کربن به خود اختصاص دادند. سینگ و همکاران (Singh et al., 2003) تأکید نمودند که پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی گیاهان متفاوت است. با توجه به اینکه عوامل مختلفی از جمله، بهبود کیفیت خاک، افزایش میزان مواد آلی خاک و کاهش عملیات خاک-ورزی منجربه افزایش میزان ترسیب کربن می‌گردند، در مزارع سویا نیز علاوه‌بر بهبود ساختمان خاک به‌واسطه تثبیت زیستی نیتروژن در ریشه‌ها، اضافه کردن بقایای گیاهی از جمله ساقه‌ها به خاک می‌تواند به‌طور مستقیم محتوی ماده آلی را بهبود ببخشد و به‌طور غیرمستقیم در بهبود ترسیب کربن تأثیرگذار باشد. چرا که در این تحقیق بعد از دانه، رتبه دوم تجمع کربن به ساقه‌ها اختصاص یافت.

برآورد میزان پتانسیل ترسیب کربن در دانه

با توجه به نتایج جدول ۴، در بین روش‌های مختلف زمین آمار، روش کریجینگ به‌عنوان بهترین الگو برای تخمین میزان پتانسیل ترسیب کربن در دانه سویا در محدوده زراعی شهرستان گرگان به‌دست آمده است.

در نقشه پهنه‌بندی میزان ترسیب کربن دانه در محدوده کشاورزی شهرستان گرگان در نیمه شرقی و جنوب غربی بیشترین مقدار (از ۸۴۷/۱۶ تا ۱۰۸۹/۳۸ کیلوگرم در هکتار) و در قسمت‌های مرکزی کمترین مقدار (۸۴۷/۱۶ – ۶۰۴/۹۳ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (شکل ۴ الف). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که دانه گیاه سویا بیشترین توان پتانسیل ترسیب کربن را دارد (۸۸۱/۱۶ کیلوگرم در هکتار) که می‌توان علت آن را احتمالاً کمبود آب در هنگام پر شدن دانه‌ها دانست. نتایج تحقیقات جعفریان و سید علیخانی (Jafari & Tayefeh Seyyed Alikhani, 2012) در گیاه گندم این نتایج را تأیید می‌نماید.

برآورد میزان ترسیب کربن در غلاف

نتایج نشان داد که در بین روش‌های مختلف زمین‌آماری، روش کریجینگ بهترین الگو را برای تخمین میزان پتانسیل ترسیب کربن

در غلاف گیاه زراعی سویا در محدوده اراضی کشاورزی شهرستان گرگان ارائه می‌دهد. از مدل‌های مختلف کریجینگ مدل نمایی مناسب‌ترین مدل بود که کمترین خطا و انحراف و بالاترین صحت را داشت (جدول ۴). همچنین روش تابع شعاعی با مدل تین، با داشتن بیشترین خطا، به‌عنوان نامناسبترین الگو شناخته شد. بر اساس نقشه پهنه‌بندی میزان پتانسیل ترسیب کربن در ریشه گیاه سویا، در مناطق شرقی و جنوب غربی (۴۵۵/۶۸ تا ۳۳۰/۸۳ کیلوگرم در هکتار) محدوده زراعی شهرستان گرگان بیشتر از نواحی شمال غربی و جنوبی بوده است (۳۳۰/۸۳ تا ۲۰۵/۹۹ کیلوگرم در هکتار) (شکل ۴ ب). جعفریان و سید علیخانی (Jafari & Tayefeh Seyyed Alikhani, 2012) نیز طی تحقیقات خود بر روی گیاه گندم بیان نمودند که بیشترین توان ذخیره کربن را سنبله (۱/۰۲۶ تن در هکتار) دارا است. خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2016) در تحقیقات خود بر روی کلزا، پتانسیل ترسیب کربن خورجین + بذر را چهار درصد کمتر از ساقه گزارش نمودند.

برآورد میزان پتانسیل ترسیب کربن در ریشه نتایج نشان داد که در بین روش‌های مختلف زمین‌آماری، روش کریجینگ بهترین الگو را برای تخمین میزان پتانسیل ترسیب کربن در ریشه گیاه زراعی سویا در محدوده اراضی کشاورزی شهرستان گرگان ارائه می‌دهد. از مدل‌های مختلف کریجینگ مدل پایدار مناسب‌ترین مدل بود که کمترین خطا و انحراف و بالاترین صحت را داشت (جدول ۵).

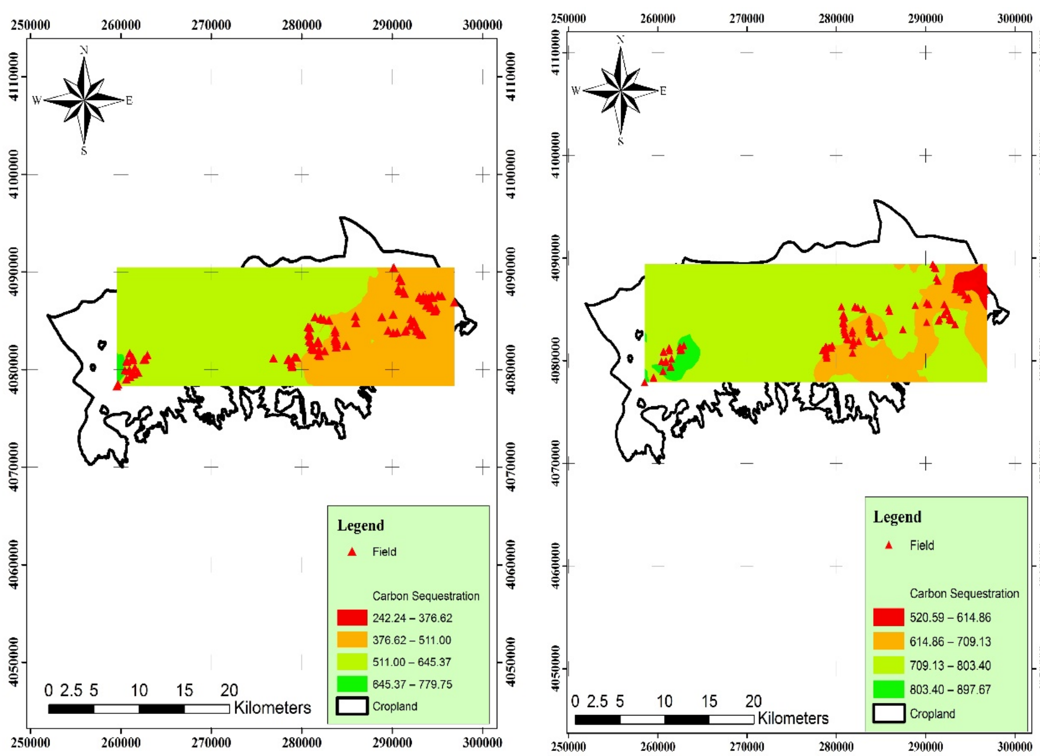


Fig. B Fig. A

شکل ۳- پهنه‌بندی میزان پتانسیل ترسیب کربن در برگ (شکل الف) و ساقه سویا (شکل ب) با استفاده از روش کریجینگ در محدوده زراعی شهرستان گرگان

Fig. 3- Zoning of carbon sequestration potential in soybean leaves (Fig. A) and stems (Fig. B) using the Kriging of Gorgan Township method in the croplands

جدول ٤- نتایج ارزیابی روش‌های زمین آماری در تخمین میزان پتانسیل ترسیب کربن در دانه و غلاف گیاه سویا در محدوده زراعی شهرستان گرگان

Table 4- The geostatistical methods assessment results in estimating the amount of potential carbon sequestration in soybean seed and pod in croplands of Gorgan Township

مدل Model		میانگین مطلق خطا MAE		میانگین انحراف خطا MBE		ریشه دوم میانگین مربعات خطا RMSE	
		دانه Seed	غلاف Pod	دانه Seed	غلاف Pod	دانه Seed	غلاف Pod
وزن‌دهی معکوس فاصله Invers distance weighting	توان ۱ 1st Power	71.85	30.86	-9.02	-2.73	91.77	43.04
	توان ۲ 2nd Power	69.03	32.05	-3.71	-2.47	88.73	44.59
	توان ۳ 3rd Power	71.14	33.92	-1.14	-3.34	90.87	46.71
تابع پایه شعاعی RBF	چند ربعی Multiquadric function	69.20	33.79	2.01	-1.91	78.90	46.84
	چندربعی معکوس Invers Multiquadric function	71.69	30.75	-4.92	-3.51	89.99	43.25
	نواری کم ضخامت Thin-plate spiline	81.15	40.43	-7.23	0.19	108.74	58.53
میان‌یابی چندجمله‌ای محلی Local plynomial interpolation	درجه ۱ 1st Order	71.23	31.32	7.41	0.38	92.59	43.08
	درجه ۲ 2nd Order	78.89	31.59	3.28	0.36	101.62	44.10
	درجه ۳ 3rd Order	77.75	31.45	2.60	1.28	103.72	43.21
کریجینگ Kriging	ثابت Stable	59.97	-	0.47	-	76.81	-
	جی-بیس J-Bassel	65.57	36.88	0.041	-1.62	83.75	46.57
	گوسین Gaussin	68.96	36.88	-0.06	-1.62	86.83	46.57
	نمایی Exponential	64.35	29.75	-0.65	-0.63	81.21	39.29
	کروی Spherical	66.48	36.88	-0.06	-1.62	83.77	46.57
	چرخشی Circular	67.51	36.88	-0.009	-1.62	85.08	46.57

بر اساس نقشه پهنه‌بندی میزان پتانسیل ترسیب کربن در اندام ریشه گیاه سویا، در مناطق شرق، شمال شرقی و جنوب شرقی (۷۰۱/۰۲ – ۵۵۱/۵۳ کیلوگرم در هکتار) بیشترین مقدار و کمترین مقدار نیز در مرکزی، غربی و جنوب غربی (۵۵۶/۵۳– ۴۱۲/۰۴ کیلوگرم در هکتار) شهرستان گرگان مشاهده شد (شکل ۵). جعفریان و سید علیخانی (Jafari & Tayefeh Seyyed Alikhani, 2012) نیز در تحقیقات خود بر روی گیاه گندم بیان نمودند در کل بوته گیاه، کمترین میزان به ریشه (۰/۱۸۹ تن در هکتار) اختصاص داشت. سروی و متین‌فر (Sarvi & Matinfar, 2016) نیز در تحقیقات خود بر روی گیاه ذرت بیان نمودند کمترین میزان ترسیب کربن با مقدار ۰/۹۷ تن در هکتار مربوط به ریشه گیاه می‌باشد. به‌طورکلی، مجموع پتانسیل ترسیب کربن سویا در کل اندام هوایی برابر با ۲۵۴۵/۷۷

کیلوگرم در هکتار، مجموع آن در اندام زیرزمینـی برابـر بـا ۵۴۰/۲۱ کیلوگرم در هکتار و کل آن برابر با ۳۰۸۵/۹۸ کیلوگرم در هکتار بود.

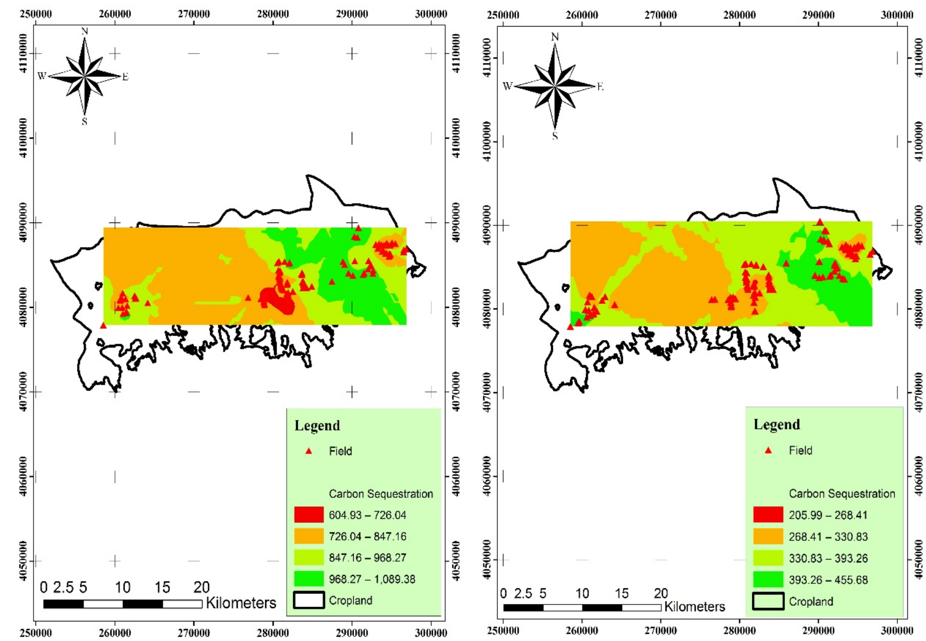
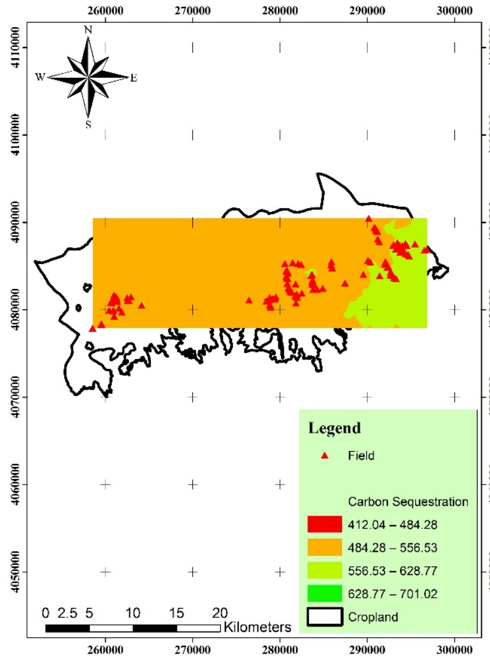


Fig. B **Fig. A**

شکل ٤- نقشه پهنه‌بندی میزان پتانسیل ترسیب کربن در دانه (شکل الف) و غلاف (شکل ب) با استفاده از روش کریجینگ در محدوده زراعی شهرستان گرگان

Fig. 4- Zoning map of carbon sequestration potential in soybean grain (Fig. A) and pod (Fig. B) using the Kriging method in croplands of Gorgan Township



شکل ۵- پهنه‌بندی میزان پتانسیل ترسیب کربن در ریشه با استفاده از روش کریجینگ در شهرستان گرگان

Fig. 5- Zoning of carbon sequestration potential in the soybean root using Kriging method in the croplands of Gorgan Township

جدول ۵- نتایج ارزیابی روش‌های زمین آماری در تخمین میزان پتانسیل ترسیب کربن در ریشه گیاه سویا در محدوده زراعی شهرستان گرگان

Table 5- The geostatistical methods assessment results in estimating the amount of potential carbon sequestration in soybean root in croplands of Gorgan Township

مدل		میانگین مطلق خطا MAE	میانگین انحراف خطا MBE	ریشه دوم میانگین مربعات خطا RMSE
وزن‌دهی معکوس فاصله Invers distance weighting	توان ۱ 1st Power	53.65	-4.33	66.09
	توان ۲ 2nd Power	58.49	-2.19	70.87
	توان ۳ 3rd Power	62.55	-1.73	75.93
تابع پایه شعاعی RBF	چندربعی Multiquadric function	61.85	-0.49	77.48
	چندربعی معکوس Invers multiquadric function	52.87	-2.80	65.47
	نواری کم‌ضخامت Thin-plate spiline	73.73	-0.67	95.14
میان‌یابی چندجمله‌ای محلی Local plynomial interpolation	درجه ۱ 1st Order	52.36	-5.28	64.20
	درجه ۲ 2nd Order	53.02	-0.001	65.52
	درجه ۳ 3rd Order	53.15	0.41	65.92
کریجینگ Kriging	ثابت Stable	46.86	-1.10	59.42

جی- بیس J-Bassel	95.25	0.11	65.17
گوسین Gaussin	53.54	-1.62	65.17
نمایی Exponential	53.54	-1.62	65.17
کروی Spherical	53.54	-1.62	65.17
چرخشی Circular	53.54	-1.62	65.17

در مطالعه‌ای پتانسیل ترسیب کربن ریشه کلزا ۵۶ درصد کمتر از ساقه گزارش شد (Khorramdel et al., 2016). پیت و همکاران (Pate et al., 1979) در تحقیقات خود روی لوپن سفید *(Lupinus polyphyllus* Lindl.) تغذیه شده با نیترات (بدون گره‌های تثبیت‌کننده) را با لوپن‌های دارای گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از نظر بودجه کربن مقایسه کردند. نتایج نشان داد اگر چه رشد و میزان جذب و تحلیل نیتروژن در دو گیاه مشابه بود، امّا ریشه‌های گره‌دار کسر بیشتری از کربن منتقل شده به ریشه‌ها را تنفس کردند. همچنین سیستم ریشه‌ای گیاهان گره‌دار کسر بیشتری از کربن جذب و تحلیل شده توسط ساقه و برگ را دریافت کردند. رایلی و همکاران (Ryle et al., 1979) بیان کردند که تنفس گره‌های تثبیت‌کننده معادل سه تا چهار گرم کربن بر گرم نیتروژن جذب شده است که گره‌ها از این تنفس برای رشد و نگهداری استفاده می‌کنند.

نتیجه‌گیری

نتایج این بررسی نشان داد که روش کریجینگ بهترین تخمین‌گر برای میزان ترسیب کربن اندام‌های مختلف در گیاه سویا در اراضی کشاورزی شهرستان گرگان است. برای پهنه‌بندی میزان ترسیب گیاه سویا، مدل‌های مختلف کریجینگ به‌علت داشتن دقت بالا و کمترین خطا پیشنهاد می‌شوند. نتایج پهنه‌بندی نشان داد که در مجموع، در بخش‌های شرقی، شمال و جنوب شرقی شهرستان بیشترین و بخش‌های مرکزی، غرب و جنوب غربی شهرستان کمترین میزان پتانسیل ترسیب مشاهده شد. در این بررسی سهم نسبی کربن در اندام‌های مختلف گیاهی از کل کربن موجود در گیاه سویا متفاوت بود. در این بین بیشترین میزان کربن به اندام‌های هوایی اختصاص یافت و میزان کربن حاصل از ترشحات ریشه نیز کمتر از سایر اندام‌های گیاهی برآورد شد. در این آزمایش میزان کربن آلی و تولید خالص اولیه در زیست‌توده هوایی به‌علت وزن خشک بیشتر بیش از زیست توده زیرزمینی برآورد شد که مؤید آن است که اندام‌هایی هوایی از توانایی بیشتری در ترسیب کربن برخوردار بوده و هر چه نسبت اندام‌های در گیاه بیشتر باشد، توان آن در ترسیب کربن افزایش می‌یابد. نتایج این پژوهش می‌تواند اهمیت گیاه سویا را برای ترسیب کربن در خاک‌های زراعی ایران و به‌ویژه استان گلستان نشان دهد.

References

Atkins, C.A., Pate, J.S., and White, S.T., 1980. Economy of carbon and nitrogen in nodulated and non-nodulated (NO_3^- grown cowpea (*Vigna ungriculata* L.) walp.). Plant Physiology 66: 978-983.

Ayobi, S., Mohammad Zamani, S., and Khormali, F., 2007. Prediction total N by organic matter content using some geostatistic approaches in part of farm land of Sorkhankalateh, Golestan Province. Journal Agriculture Sciences and Natural Resource 14(4): 1-10. (In Persian with English Summary)

Betts, R.A., Falloon, P., Goldewijk, K.K., and Ramankutty, N., 2007. Biogeophysical effects of land use on climate: model simulations of radiative forcing and large-scale temperature change. Agricultural and Forest Meteorology 142: 216-233.

Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., and VandenBygaart, A.J., 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. Agriculture, Ecosystems and Environment 118: 29-42.

Conen, F., and Smith, K.A., 1998. A re-examination of closed flux chamber methods for the measurement of trace gas emissions from soils to the atmosphere. European Journal of Soil Science 49: 701-707.

Deutsch, C.V., 2002. Geostatistical reservoir modeling. Oxford University Press 376 p.

Dieleman, C.M., Branfireun, B.A., Mclaughlin, J.W., and Lindo, Z., 2015. Climate change drives a shift in peatland ecosystem plant community: implications for ecosystem function and stability. Global Change Biology 21: 388-395.

Duiker, S.W., and Lal, R., 2000.Carbon budget study using CO_2 flux measurement from a no till system in cereal Ohio. Soil and Tillage Research 54: 21-30.

Frank, A.B., and Karn, J.F., 2003. Vegetation indices, CO_2 Flux, and biomass for northern plains grasslands. Journal of Range Management 55:16-22.

Forozeh, M., Heshmati G., Ghanrian, G., and Mesbah, H., 2008. Comparing of the carbon sequestration potential by three species in arid rangelands of Iran. Journal of Environmental Studies 34(46): 65-72.

Gao, Y.H., Lue, P., Wu, C.H., and Wang, G.X., 2007. Grazing intensity impacts on carbon sequestration in an Alpine Meadow on the Eastern Tibetan Plateau. Journal of Agricultural and Biological Science 3(6): 642-647.

Gan, Y.T., Campbell, C.A., Janzen, H.H., Lemke, R.L., Basnyata, P., and Mc Donald, C.L., 2009. Carbon input to soil from oilseed and pulse crops on the Canadian prairies. Agriculture, Ecosystems and Environment 132: 290-297.

Gill, R.A., Kelly, R.H., Parton, W.J., Day, K.A., Jackson, R.B., Morgan, J.A., Scurlock, J.M.O., Tieszen, L.L., Castle, J.V., Ojima, D.S., and Zhang, X.S., 2002. Using simple environmental variables to estimate belowground productivity in grasslands. Global Ecology and Biogeography 11: 79-86.

Golestan Province Meteorological Office, 2016. http://portal.golestanmet.ir/ (In Persian)

Hasanipak, A., 1998. Geostatistics. Tehran University Press, 314 p. (In Persian)

Jafarian, Z., and Tayefeh Seyyed Alikhani, L., 2012. Carbon sequestration potential in dry farmed wheat in Kiasar Region. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production 23(1): 31-41. (In Persian with English Summary)

Jansson, C., Wullschleger, S.D., Kalluri, U.C., and Tuskan, G.A., 2010. Phytosequestration: Carbon biosequestration by plant and prospects of genetic engineering. BioScience 60: 658-696.

Jose, S., and Bardhan, S., 2012. Agroforestry for biomass production and carbon sequestration: an overview. Agricultural Systems 86: 105-111.

Kazemi, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shataee, SH., and Sadeghi, S., 2012. Estimation of land statistics methods for estimation and zonation of primary nutrient elements in some agricultural lands in Golestan province. Journal of Water and Soil Science 1(22): 201-218.

Khan, S., Hanjra, M.A., and Mu, J., 2009. Water management and crop production for food security in china: A review. Agricultural Water Management 96: 349-360.

Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Khorasani, R., 2011. Effect of different crop management systems on net primary productivity and relative carbon allocation coefficients for corn (*Zea mays* L.). Journal of Agroecology 2(4): 667-680. (In Persian with English Summary)

Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., and Jafari, L., 2016. Evaluation of Potential for Carbon Sequestration in Rapeseed (*Brassica napus* L.) in Razavi Khorasan province. Journal of Crop Production 9(3): 22-43. (In Persian with English Summary)

Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., and Moallem Benhagi, F., 2018. Evaluation of carbon allocation coefficients and net production of primary crops in Khorasan Razavi province. Journal of Crop Production 11(1): 141-152. (In Persianwith English summary)

Kravchenko, A., and Bullock, D.G., 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties.Agronomy Journal 91: 393-400.

Kutsch, W.L., Aubinet, M., Buchmann, N., Smith, P., Osborne, B., Eugster, W., Wattenbach, M., Schrumpf, M., Schulze, E.D., Tomelleri, E., Ceschia, E., Bernhofer, C., Béziat, P., Carrara, A., DiTommasi, P., Grünwald, T., Jones, M., Magliulo, V., Marloie, O., Moureaux, C., Olioso, A., Sanz, M.J., Saunders, M., Sogaard H., and Ziegler, W., 2010. The net biome production of full crop rotations in Europe. Agriculture, Ecosystems and Environment 139: 336-345.

Lambers, H., Chapin F.S., and Pones T.L., 2008. Plant Physiological Ecology. 2nd Edition Springer 604 p.

Li, S., Li, Y., Li, X., Tian, X., Zhao, A., Wang, S., Wang, S., and Shi, J., 2016. Effect of straw management on carbon sequestration and grain production in a maize-wheat cropping system in Anthrosol of the Guanzhong Plain. Soil and Tillage Research 157: 43-51.

Lichtfouse, E., 2009. Climate change, intercropping, pest control and beneficial microorganisms. Springer 524 p.

Luedling, E., Kindt, R., Hunth, N., and Koenig, K., 2014. Agroforestry systems in a changing climate – challenges in projecting future performance. Current Opinion in Environmental Sustainability 6: 1-7.

Mahdian, M.H., 2007. Application of Geostatistics in Soil Science. Proceedings of the First Conference on Soil, Sustainable Development and the Environment. University of Tehran, Tehran, Iran. (In Persian)

Mozaffari, G.H., Mirmosavi, S.H., and Khosravi, Y., 2012. Estimation of land statistics and linear regression methods in determination of spatial description of precipitation (Case study: Bushehr city). Geography and Development Magazine 27: 63-76.

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Mansoori, H., and Moradi, R., 2015. Study of long term cycle of carbon and its sequestration in Iran's agricultural system: I- Primary net production and annual carbon input for various crops. Journal of Agroecology 6(4): 741-752. (In Persian with English Summary)

Noorbakhsh, F., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M., 2016. Evaluation of the effect of species diversity on some agro-ecosystem services in maize, soybean and hatchet mixture 2- Performance, land parity ratio, respiration and microbial biomass of soil and carbon sequestration potential. Journal of Crop Production 9(1): 49-68. (In Persian with English Summary)

NOAA, NOAA is an agency that enriches life through science. Our reach goes from the surface of the sun to the depths of the ocean floor as we work to keep citizens informed of the changing environment around them. http://www.noaa.gov.

Pate, J.S., Layzell, D.B., and Atkins, C.A., 1979. Economy of carbon and nitrogen in a nodulated and nonnodulated (NO_3-grown) legume. Plant Physiology 64: 1083-1088.

Polidori, A., Turpin, B.J., Davidson, C.I., Rodenburg, L.A., and Maimone, F., 2008. Organic PM 2.5: Fractionation by polarity, FTIR spectroscopy, and OM/OC ratio for the pittsburgh aerosol. Journal of Aerosol Science and Technology 42: 233-246.

Post, W.M., and Kwon, K.C., 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. Global Change Biology 6: 317–327.

Ramachandran Nair, P.K., Nair, V.D., Mohan Kumar, B., and Showalter, J.M., 2010. Chapter Five – Carbon Sequestration in Agroforestry Systems 108: 237-307.

Ryle, G.J.A., Powell, C.E., and Gordon, A.J., 1979. The respiratory costs of nitrogen fixation in soybean, cowpea, and white clover. II. Comparisons of the cost of nitrogen fixation and the utilization of combined nitrogen. Journal of Experimental Botany 30 (114): 145-153.

Sarvi, V., and Matinfar, H.R., 2016. Evaluation of carbon sequestration potential in alfalfa, maize and canola fields of Moghan plain using different statistical methods in GIS environment. First Conferences on Remote Sensing and Geographic Information Systems in Earth Sciences. Faculty of Agriculture, Shiraz University, Iran. Oceanic and Oceanographic Research Center, Iran. (In Persian)

Singh, G., Bala, N., Chaudhuri, K.K., and Meena, R.L., 2003. Carbon sequestration potential of common access resources in arid and semi-arid regions of northwestern India. The Indian Forester 129: 859- 864.

Smith, J., Smith, P., Wattenbach, M., Gottschalk, P., Romanenkov, V.A., Shevtsova, L.K., Sirotenko, O.D., Rukhovi, D.I., Koroleva, P.V., Romanenko, I.A., and Lisovoi, N.V., 2007. Projected changes in the organic carbon stocks of cropland mineral soils of European Russia and the Ukraine, 1990-2070. Global Change Biology 13: 342-356.

Smith, P., Lanigan, G., Kutsch, W.L., Buchmann, N., Eugster, W., Aubinet, M., Ceschia, E., Beziat, P., Yeluripati, J.B., Osborne, B., Moors, E.J., Brut, A., Wattenbach, M., Saunders, M., and Jones, M., 2010. Measurements necessary for assessing the net ecosystem carbon budget of croplands. Agriculture, Ecosystems and Environment 139: 302-315.

Verchot, L.V., Noordwijk, M.V., Kandji, S., Tomich, T., Ong, C., Albrecht, A., Mackensen, J., Bantilan, C., Anupama, K.V., and Palm, C., 2007. Climate change: Linking adaptation and mitigation through agroforestry. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 12: 901-918.

Webster, R., and M.A., Oliver., 2000. Geostatistics for environmental scientists. Wiley Press, 271 p.

Yong Zhong, S.U., 2007. Soil carbon and nitrogen sequestration following the conversion of crop land to alfalfa land in northwest china. Journal of Soil and Tillage Research 92: 181-189.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 541-559

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۵۵۹-۵۴۱

Zoning and Evaluation of Carbon Sequestration Potential, Primary Net Production and Carbon Allocation Coefficients of Soybean (*Glycine max* L.) in Gorgan Township

S. Bakhshande Larimi[1], H. Kazemi[2*], A. Soltani[3] and B. Kamkar[3]
Submitted: 04-02-2019
Accepted: 10-06-2019

Bakhshande Larimi, S., Kazemi, H., Soltani, A., and Kamkar, B., 2020. Evaluation of carbon sequestration potential, primary net production and carbon allocation coefficients in soybean (*Glycine max* L.). Journal of Agroecology 12(3):541-559.

Introduction

Climate change and global warming are the most important challenges in sustainable development, which is due to increased concentration of greenhouse gases in the atmosphere. Carbon dioxide is a major component of greenhouse gases. In order to reduce atmospheric carbon dioxide and to create a balance in the content of greenhouse gases, atmospheric carbon must be absorbed in organic forms (Dieleman et al., 2015; Lichtfouse, 2009). For this aim, a study was done in agricultural lands of Gorgan in order to estimate the carbon sequestration potential of soybean plant (*Glycine max* L.).

Materials and Methods

This research was carried out in 150 soybean fields of Gorgan township and sampled by quadrate 0.5×0.5 m^2 as random method, during 2016-2017. The soybean shoot and root organs were individually harvested and transferred to the laboratory. An electric burn furnace method was used to determine the carbon sequestration potential in soybean organs (including pods, seeds, stems, leaves and roots). Also, the amount of shoot to root and harvest index were estimated to determine the net primary production based on carbon content in the above ground organ, below ground organ and total plant, and the carbon allocation coefficients in each soybean organ. Then, using different interpolation methods, the spatial distribution of carbon sequestration of the plant organs was investigated in ArcGIS software. All data were analyzed by SPSS software.

Results and Discussion

The results showed that Kriging method was the best model for carbon interpolation and distribution of carbon sequestration potential in agricultural lands of Gorgan township. The amount of stored carbon was obtained as 579.64 $kg.ha^{-1}$ in leaves, 744.81 $kg.ha^{-1}$ in stem, 881.16 $kg.ha^{-1}$ in seeds, 340.16 $kg.ha^{-1}$ in pods and 540.21 $kg.ha^{-1}$ in root. Also, according to harvest index (32%) and grain yield (3461.13 $kg.ha^{-1}$), other indexes were calculates as the ratio of shoot to root about 4.30, the total net primary carbon production 6734.8 $kg.ha^{-1}$, above-ground net primary carbon production 4867.2 $kg.ha^{-1}$ and below-ground net primary carbon production about 1867.63 $kg.ha^{-1}$. Also, the shares of the allocation coefficients of economic organs, stems, leaves, root and root secretions were 0.23, 0.49, 0.61 and 0.12, respectively. The zoning results showed that the total stored carbon potential in soybean plant was highest in the eastern, north and southeastern regions of the surveyed area, and the central, western and southwestern parts of this township had the lowest stored carbon potential. Also, the amount of carbon sequestration potential (total above ground and below ground organs) was as 3085.98 $kg.ha^{-1}$

1- Ph.D. Student of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2- Associate Professor of Agronomy Department, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3- Professor of Agronomy Department, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
(*- Corresponding Author Email: hkazemi@gau.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i3.79031

in this study.

Conclusion

The highest proportion of carbon was allocated to the shoot organs, and the carbon of root exudates was also lower than other plant organs. In this study, it has been found that the potential of carbon sequestration was different in soybean plant organs and some variable such as agronomical management, soil and climatic condition can affect on its contents.

Acknowledgements

We are thankful to Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR), Agriculture Services Centers of Gorgan and soybean farmers for all their companions and supports.

Keywords: Carbon net production, Interpolation, Plant organs.